

1. はじめに

当社の球状黒鉛鑄鉄との関わりは私の父親である木下定が昭和 34 年にエール式アーク炉を導入し、Ca 系球状化剤を使用して球状黒鉛鑄鉄の製造を開始したところから始まっている。

アーク炉を導入したのは球状黒鉛鑄鉄の製造には脱硫が必要との考えから、アーク炉を使用し塩基性スラグにより脱硫をすれば球状黒鉛鑄鉄の製造が可能と考えたからである。

当初は、ダクタイル銑のみを使用し比較的良い結果を得ていたが、ダクタイルの戻り材を使用すると内部欠陥が多発し、溶解を繰り返す毎にその傾向は増加した。また、1 回のチャージ量が多い場合は欠陥の発生が多く、チャージ量が少ない場合には比較的欠陥の発生が少なかった。

この原因についていろいろ検討した結果、アーク直下およびその周辺において短時間に昇温、溶解された溶湯には欠陥の発生が少ないことが分かってきた。

ちょうどその当時、鑄物用銑の研究が進み黒鉛球状化の阻害要因として微量元素の総和 (ΣA)、硫黄と共に「懸濁珪酸」¹⁾ の存在が指摘されていた。

このことにもヒントを得て、欠陥の原因は溶解過程の低温領域において形成される Si 酸化物にあるとの結論に至った。この問題点を解消するために試行錯誤を重ね、昭和 38 年にアークプラズマによる還元性雰囲気内での直接溶解と強塩基性スラグを組合わせて脱酸、脱硫を行う特殊アーク炉 (KS 炉) を開発した。²⁾

今回は脱酸、脱硫を目的とした KS 炉の溶解方法及びその効果の概要について述べる。

2. KS 式電気炉の概要

2-1 溶解方法

KS 炉における原料の溶解方法を図 1 に示す。

銑ドライ粉などの小さな原料を精錬剤 (CaO) と配合して電極に沿ってアーク雰囲気中に落下させると急速に高温溶解、脱酸 (15ppm 以下) される。溶滴は、更に電極下に形成された塩基性スラグ層を通過することによりろ過され、脱硫 (0.003 % 以下) される。この場合、スラグ層は溶湯と未溶解原料との接触による溶湯の汚染を防止する役割も果たす。ここで重要な点は、原材料としてドライ粉を使用している点である。原材料が微細なドライ粉であるため、アークプラズマによる昇温が急速に進むと同時に、溶滴はアーク衝撃によりいっそう微細化され、反応の界面積が拡大され、脱酸、脱硫が進行する。

このように溶解、精錬れた溶滴は電極下の限定された炉床に集約し連続的に出銑される。

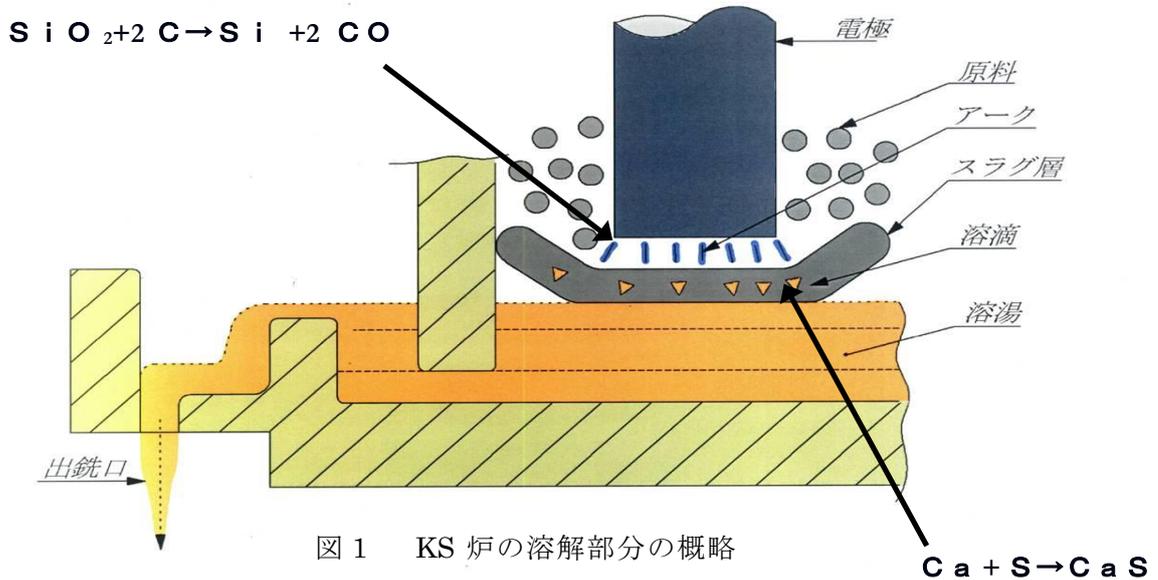


図1 KS 炉の溶解部分の概略

これらの KS 法の基本原理をまとめると表 1 のようになる。冶金的にも物理的にも総て精錬作用に適した好条件が集積されており、この溶解部分が最も重要な点で、精錬過程を持たない溶解方法による溶湯性状と大きな相違になるものと考えられる。

| | | |
|--------------------------|----|---|
| 1. 溶解原料に銑ダライ使用 | —— | 反応界面積の拡大 |
| 2. アークプラズマによる直接溶解 | —— | 高温、還元性雰囲気による脱酸 ($\text{O} < 15\text{PPM}$) |
| 3. 強塩基性スラグ層による溶滴のろ過 | —— | 脱硫 ($\text{S} < 0.003\%$) |
| 4. スラグ層による精錬溶湯と未溶解原料との隔離 | —— | 精錬溶湯の未溶解原料による接触、汚染防止 |

表 1 KS 法の基本

2-2 装置の概略

装置は、溶解帯を電極下に限定、炉形を最小限に抑え、原料装入、集塵などを有効に行うため、3本の電極を直線上に配列してある。また、原料装入から出湯まで連続、自動化してある。³⁾ 図 2 に装置の概要を示す。

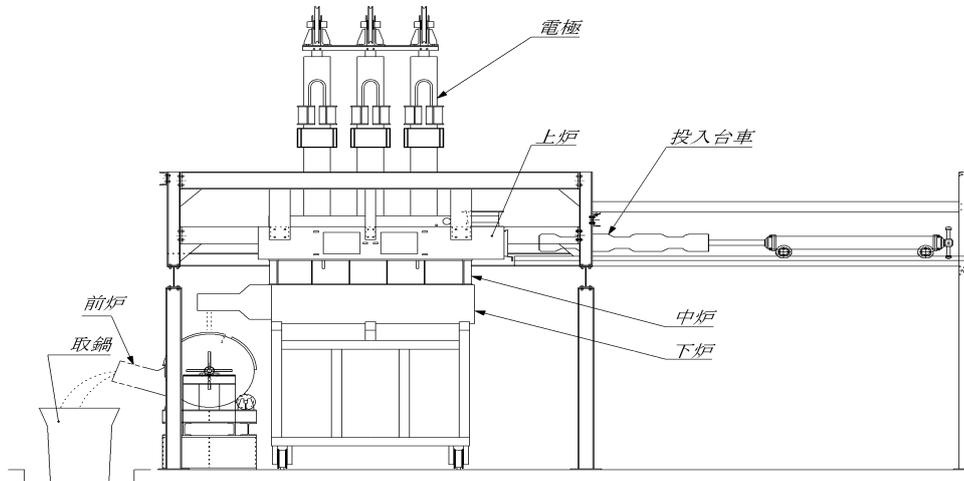


図2 装置の概要

2-3 KS炉による脱酸、脱硫効果

図3にKS炉で溶解した溶湯（元湯）の酸素、硫黄分析結果の一例を示す。

様式 F5

分析試験結果報告書

発行年月日: 2007年 1月 29日
整理番号: F*****

| ご依頼元 | 株式会社 木下製作所 御中 | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| 品 目 | 鑄鉄中の酸素、硫黄分析 | | | | | | | | | | | | | |
| 試料記号 | 分析項目 | | | | | | | | | | | | | |
| | 回数 | 硫黄 | | | | | | 酸素 | | | | | | 決定 |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 決定 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 決定 | |
| 単位 | % | % | % | % | % | % | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | | |
| 1-1 | 0.0058 | 0.0056 | 0.0053 | 0.0046 | 0.0048 | 0.0052 | 9 | 14 | 77 | 10 | 9 | 10 | | |
| 1-2 | 0.0051 | 0.0051 | 0.0044 | 0.0054 | 0.0054 | 0.0051 | 20 | 19 | 14 | 11 | 13 | 15 | | |
| 2-1 | 0.0035 | 0.0025 | 0.0034 | 0.0025 | 0.0033 | 0.0030 | 15 | 19 | 91 | 10 | 12 | 14 | | |
| 2-2 | 0.0038 | 0.0038 | 0.0033 | 0.0031 | 0.0032 | 0.0034 | 11 | 11 | 25 | 11 | 12 | 11 | | |
| 3-1 | 0.0029 | 0.0028 | 0.0023 | 0.0029 | 0.003 | 0.0028 | 12 | 10 | 10 | 16 | 17 | 13 | | |
| 3-2 | 0.0024 | 0.0029 | 0.0031 | 0.0029 | 0.0027 | 0.0028 | 17 | 15 | 11 | 26 | 32 | 14 | | |
| JSS 244-7(0.0020%) | - | - | 0.0021 | - | - | 0.0021 | - | - | - | - | - | - | | |
| JSS 154-11(0.0040%) | - | - | 0.0039 | - | - | 0.0039 | - | - | - | - | - | - | | |
| JSS GS-5C(125ppm) | - | - | - | - | - | - | 126 | 124 | 127 | 127 | 127 | 126 | | |
| JSS GS-2d(13ppm) | - | - | - | - | - | - | 12 | 14 | 11 | 12 | 12 | 12 | | |
| 【備考】 | 【分析方法】 硫黄分析: 燃焼-赤外線吸収法(JIS G 1215) 酸素分析: 燃焼-赤外線吸収法(JIS Z 2613) 赤データは、試料の偏析のため計算より削除しました。 | | | | | | | | | | | | | |
|  JFEテクニサーチ株式会社(JFE-TEC) 分析・評価事業部 福山事業所 | | | | | | | | | | | | | | |
| 所長 山下 正明 | | | | | | | | | | | | | | |
| 広島県福山市鋼管町1番地(JFEスチール構内) 〒721-0931 TEL: 084(945)4137 FAX: 084(945)3989 | | | | | | | | | | | | | | |

図3 酸素、硫黄分析結果

出湯直後(1-1、1-2)、出湯4時間経過後(2-1、2-2)、出湯8時間経過後(3-1、

3-2)に各2試料を分析した。

酸素量については10～15ppmの間でばらついているがサンプリング、分析精度(4ppm)の問題もあり、この程度のばらつきは特に有意な差とは考えられず、安定して脱酸が行なわれていると考えられる。球状化処理後の酸素量も10ppm前後であり元湯の酸素量が低いため大きな低下は見られなかった。

硫黄については出湯直後は0.005%と少し高くなっているが、その後は0.003%付近で安定しており脱硫についても安定していると考えられる。通常出湯後15分程度で硫黄値は0.003%以下まで低下する。ここでも分析精度の問題から測定値の0.003%と0.001%の差に大きな有意性は無いと考えられる。

測定値においてはこのレベルでの酸素、硫黄のバラツキは有意性を持たないが、実質的には酸素含有量の2ppm、硫黄含有量の0.001%の違いは溶湯性状に大きく影響すると思われ炉前試験においてはその差が現象として確認できる。

3. KS炉の技術効果

3-1 内部欠陥の低減

酸素、硫黄及び微量元素の低減により、球状化処理に必要なMgの添加量が低減でき結果的に球状化処理後の溶湯の清浄度が上がり内部欠陥の発生が抑制される。

Mg添加量を増やして強制的に黒鉛を球状化させる方法は一方ではMgO、MgSといった化合物を生成させることになり内部欠陥、ドロス等の欠陥発生の原因となると考えられる。

弊社でのMg添加量は0.025～0.030%程度であり、残留Mg量は0.015～0.020%程度で80%以上の球状化率を安定して確保している。

また、炉前試験により溶湯段階で内部欠陥の発生程度を予測する方法を開発し製品段階での内部欠陥発生による不具合を低減している。

3-2 黒鉛球状化能の向上

上記したように不純物が少なく、添加したMgが化合物になって逃げることなく有効に働くため、時間経過による球状化率の低下(フェーディング現象)³⁾、肉厚部での球状化率の低下、組織の粗大化(質量効果)が低減できる。

3-3 湯流れ性の向上

元湯の酸素量が≒15ppm以下、硫黄≒0.008%以下になってくると溶湯の表面張力が高くなり、図4に示すように湯玉が丸く盛り上がったような状態になる。イメージとしてはハスの葉っぱの上にきれいな雨水が落ちてコロコロ転がるような感じである。

このような溶湯では球状化処理をした後も湯流れがよく凝固し難いため薄肉化に有利である。

(現場でいう「湯走りがいい」「湯ざめが遅い」

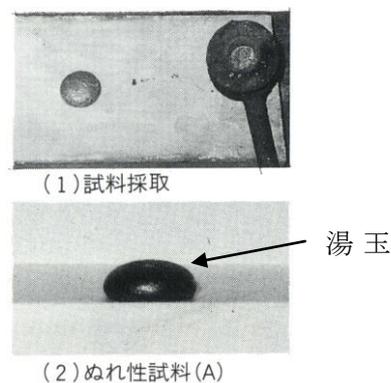


図4 湯玉

という状況)

図5に湯流れ試験の結果を示す。

これは巾 50 mm×長さ 500 mm、厚さがそれぞれ 2、3、4、5 mmの板状試験片に球状化処理後の溶湯を約 1400 °Cで铸込んだものである。



図5 板状湯流れ試験結果

3-4 耐熱性の向上

介在物が少ないため耐熱性（特に耐熱疲労性）が向上する。図6は溶銑の硫黄含有量と熱割れまでのサイクル数の関係を示したものである。⁶⁾

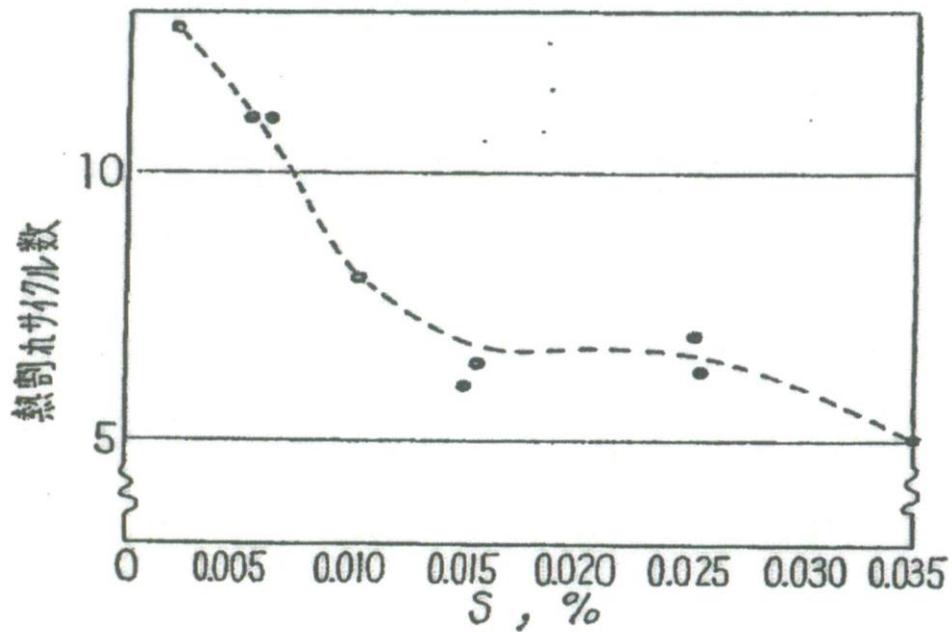


図6 溶銑の硫黄含有量と熱割れまでのサイクル数との関係⁶⁾

4. KS炉の経済効果

4-1 原材料費の低減

原材料は100%銑ドライ粉を使用し、炉内で脱酸、還元をするため酸化ロスがなく材料歩留りは100%が確保できる。

4-2 歩留りの向上

内部欠陥が出難いので押湯が低減でき、また湯流れが良いので湯道を回す必要がなく、断面積も低減できる。(方案歩留り 82% : 弊社実績)

4-3 仕上工数の低減

押湯、セキの数、断面積を低減できるため仕上工数が低減できる。

4-4 その他

電力使用量の低減 (≒ 570kwh / 溶解トン)

球状化剤使用量の低減 (Fe - Si - 4% Mg 0.7%)

5. おわりに

昭和38年に初期のKS炉を開発して以来40数年にわたり装置、溶解ノウハウの改善を行ってきたがその中心は球状化能の向上と内部欠陥の抑制に焦点をあてたものであった。

ここ数年、溶湯清浄度の高さを活かして薄肉化、耐熱性の向上技術の開発に取り組んでいる。これらの研究開発は経産省、広島市の補助金を受け、広島大学大学院工学研究科柳澤教授、広島市工業技術センター、(財)広島市産業振興センター、中小企業基盤整備機構殿のご協力をいただきながら進めている。

アークプラズマによる直接溶解が内部欠陥の発生、湯流れ性等の溶湯性状に及ぼす影響については不明な点も多くこれからの検討課題と考えている。

参考文献

- 1) 谷村他：製鉄研究 (1963.8)
- 2) 木下 定：特許公報 (昭40.10)
- 3) 木下 定、木下 潔：鑄造工学 71(1999),195
- 4) 堤、今村、佐久間：鑄物 55 (1983)、494
- 5) 木下 定、木下 潔：JACT NEWS No.465(1995.9)
- 6) 千田 昭夫：鑄物 44 (1972)、41